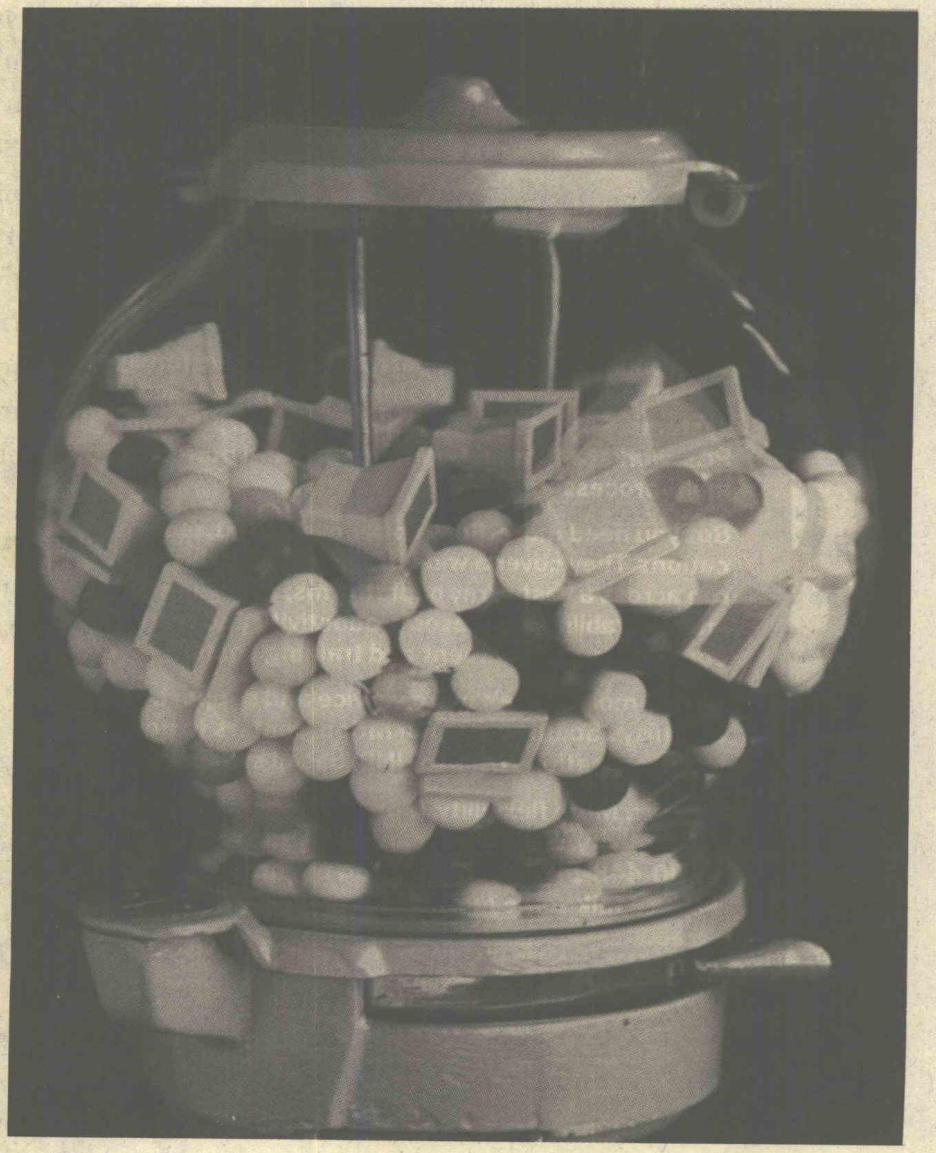
เขมะทัต วิภาตะวนิช

# มารู้จักมาตรฐานระบบ เครือข่าย คอมพิวเตอร์

*กล่าวถึงคำจำกัดความ สถาปัตยกรรมลำดับชั้น ตามข้อกำหนด ISO และ รูปแบบโปรโตคอล HDLC*



ระบบเครือข่าย เมื่อพิจารณาตามอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล ระยะทาง และลักษณะในการให้บริการจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครือข่ายเฉพาะบริเวณ (Local Area Network (LAN)) และเครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network (WAN)) โดยเครือข่ายเฉพาะบริเวณจะมีอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลค่อนข้างสูง คือประมาณ 4-100 เมกะบิต/วินาที ระยะทางอยู่ในช่วงประมาณ 2.5-200 กิโลเมตร สำหรับการให้บริการนั้นผู้ที่เป็นเจ้าของระบบจะเป็นผู้กำหนด ซึ่งอาจจะเป็นเอกชนหรือรัฐบาลก็ได้ มาตรฐานและเครือข่ายเฉพาะบริเวณ เช่น IEEE 802.3, 802.4, 802.5 และ FDDI (Fiber Distributed Data Interface) เป็นต้น เครือข่ายบริเวณกว้างจะมีอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลเมื่อถึงผู้ใช้บริการไม่สูงมาก คือ ประมาณ 1,200 บิต/วินาที-2 เมกะบิต/วินาที (2.048 เมกะบิต/วินาที) ระยะที่ใกล้โดยเฉลี่ย 8 กิโลเมตร ส่วนระยะไกลก็อาจจะถึงหลายหมื่นกิโลเมตร สำหรับการให้บริการนั้นจะครอบคลุมภายในประเทศและติดต่อกับต่างประเทศ จึงจำเป็นต้องมีองค์กรของรัฐเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย มาตรฐานของเครือข่ายบริเวณกว้าง เช่น X.25, X.75 เป็นต้น

สำหรับบทความนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเครือข่าย โดยจะ

เน้นที่คำจำกัดความ สถาปัตยกรรมลำดับชั้นตามข้อกำหนดของ ISO และในช่วงท้ายจะเป็นรูปแบบโปรโตคอล HDLC ซึ่งเป็นโปรโตคอลชั้นที่ 2 ที่ถูกกำหนดโดย ISO สำหรับบทแทรกนั้นจะเป็นสิ่งที่โปรโตคอลในระบบสื่อสารข้อมูลจะต้องมี ซึ่งก็คือ Sliding window และการคำนวณ FCS

## มาตรฐานมีไว้เพื่ออะไร

ถ้าพิจารณาดูจะพบว่า ในตลาดของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นมีอยู่มากมายหลายเครื่องหมายการค้า บางเครื่องหมายการค้าอาจจะคล้ายกัน แต่บางเครื่องหมายการค้าก็แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะคล้ายกันนั้นมักจะอยู่ในระดับที่เรียกว่าไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับเครื่องในระดับมินิ เมนเฟรม หรือซูเปอร์คอมพิวเตอร์แล้ว ถึงแม้ว่าจะมีก็เป็นจำนวนไม่มากนัก ในการเชื่อมโยงเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าหากันเพื่อทำเป็นเครือข่าย จะเป็นการยากอย่างยิ่งถ้าเรานำเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างเครื่องหมายการค้ากันมาเชื่อมโยงเข้าหากัน ทั้งนี้เพราะว่า บริษัทผู้ผลิตแต่ละรายย่อมมีวิธีการในการเชื่อมต่อที่ไม่เหมือนกัน วิธีการที่ว่านี้ไม่เพียงแต่เฉพาะฮาร์ดแวร์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงซอฟต์แวร์ด้วย เมื่อเรามองเข้าสู่สเกล (scale) ที่ใหญ่ขึ้นนั่นก็คือ การเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างประเทศทั่วโลก ปัญหาที่เกิดขึ้นก็ยังคงเหมือนเดิมและถ้าเป็นเช่นนี้ตลอดไป ปัญหาที่เกิดขึ้นย่อมจะตกอยู่กับผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างคล่องตัว และในอนาคตก็ไม่มีหลักประกันที่แน่นอนว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทนั้น ๆ จะยังคงมีตลอดไป ดังนั้นจึงมีหลายองค์กรไม่ว่าจะเป็นภายในหรือระหว่างประเทศ เช่น IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers), ISO (International Standard for Organization), CCITT* เป็นต้น พยายามที่จะเป็นตัวกลางเสมือนเป็นผู้ควบคุมดูแลผลประโยชน์ของทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้งาน จึงได้กำหนดมาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมโยงเครือข่ายหรือคอมพิวเตอร์เข้าหากันซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก ทำให้ผู้ใช้มีความคล่องตัวในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์มาใช้งานให้ได้ประโยชน์สูงสุด เช่น การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าหากันโดยผ่านชุมสายโทรศัพท์ก็ต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โมเด็ม (modem) เพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอะนาล็อก หรือโดยนัยกลับกัน มาตรฐานของโมเด็มที่ใช้กันอยู่นี้ ก็เป็นไปตามมาตรฐานของ Bell หรือ CCITT V-series เช่น V.22 bis, V.32 เป็นต้น นอกจากนี้การเชื่อมต่อระหว่างโมเด็มกับคอมพิวเตอร์ก็ใช้มาตรฐานที่เรียกว่า CCITT V.24 หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า RS-232C (ถึงแม้ว่าจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไปบ้างก็ตาม) ซึ่งเป็นมาตรฐานของ EIA (Electronic Industries Association) ในที่นี้ขอให้ลองพิจารณาระบบโทรศัพท์ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ในอดีตจะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการติดต่อไปยังปลายทางจะใช้วิธีหมุนหมายเลขซึ่งก็คือ ระบบพัลส์ (pluse) นั่นเอง ในปัจจุบันเราเพียงแต่กดหมายเลขที่ต้องการก็สามารถติดต่อไปยังปลายทางได้เช่นเดียวกัน ซึ่งก็คือระบบ DTMF (Dual Tone Multi-Frequency) ถ้านำระบบทั้งสองมาสลับกันใช้จะเห็นได้ว่าไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับการใช้มาตรฐานที่แตกต่างกันนั่นเอง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบที่ให้บริการในลักษณะที่เป็นสาธารณะนั้น มาตรฐานย่อมเป็นสิ่งที่ไม่อาจละเลยได้

## สถาปัตยกรรมลำดับชั้น

ถ้าพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการส่งผ่านแฟ้มข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างเครื่องหมายการค้ากันโดยผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการด้วยกัน เช่น โปรเซสที่อยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ต้นทาง จะหาตำแหน่งและเส้นทางของโปรเซสที่ต้องการจะติดต่อด้วยที่ปลายทางได้อย่างไร ถ้าระบบเกิดความผิดพลาดขึ้นขณะที่มีการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งอาจเนื่องมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานผิดพลาดจนต้องหยุดการทำงานของตัวเอง จะมีวิธีการอย่างไรเพื่อที่จะทำให้ระบบกลับคืนสู่สภาพเดิม และพร้อมกันนั้นจะแน่ใจได้อย่างไรว่าข้อมูลที่ส่งผ่านกันมีการเรียงลำดับของข้อมูลตลอดจนเรียงลำดับบิตก่อนหลังได้ถูกต้อง จะเห็นได้ว่าปัญหาดังกล่าวมีขนาดใหญ่มาก และจะเป็นการยากยิ่งถ้าจะพยายามสร้างวัตถุ (object) ใด ๆ ขึ้นมาวัตถุหนึ่ง เพื่อแก้ปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้เกิดแนวความคิดที่จะแบ่งหน้าที่การแก้ปัญหาออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน พร้อมกันนั้นก็จัดระเบียบของปัญหาที่เกิดขึ้นให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากหลักการนี้เองจึงได้เกิดสถาปัตยกรรมลำดับชั้นขึ้น โดยแบ่งระดับชั้นของการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ออกเป็น n ชั้น แต่ละชั้นจะมีหน้าที่เฉพาะอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1 การเชื่อมต่อจะเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ แนวนอนและแนวตั้ง แนวนอนจะเป็นการสื่อสารระหว่างต้นทางกับปลายทางที่อยู่ใน

* CCITT = Comité Conmltatif Internationale de Télégraphique et Teléphonique

ระดับเดียวกัน โดยใช้โปรโตคอลในระดับนั้น ๆ เป็นตัวจัดการ ส่วนแนวตั้งจะเป็นการขอและให้บริการผ่านจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันเท่านั้น

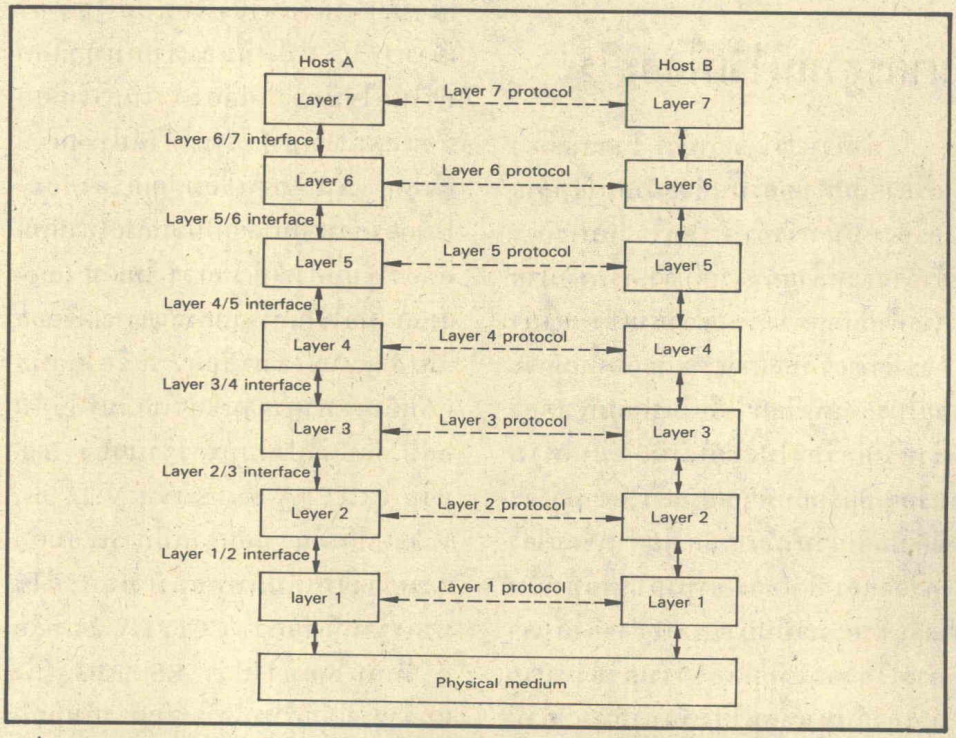
## รูปแบบอ้างอิงมาตรฐาน (Reference Model)

จากการที่มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยงานในหลายลักษณะ และมีแนวโน้มที่จะขยายการใช้งานให้กว้างขวางมากขึ้นในอนาคต ทำให้ผู้ใช้มีความต้องการที่จะเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อสื่อสารถึงกันมากขึ้นเป็นเงาตามตัว คณะกรรมการของ ISO ชุดที่ 97 (Technical Committee 97 (TC 97)) ที่ดูแลทางด้านการประมวลผลระบบสารสนเทศได้ตระหนักถึงความต้องการเช่นนี้เป็นอย่างดี จึงได้ตั้งคณะทำงานที่เรียกว่า คณะกรรมการย่อยชุดที่ 16 (Subcomittee 16 (SC16)) เพื่อศึกษาและกำหนดรูปแบบอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมโยงเครื่องคอมพิวเตอร์หลาย ๆ ชนิดเข้าหากัน (heterogeneous network) และในช่วงฤดูใบไม้ผลิปี ค.ศ. 1983 ได้มีการประกาศรูปแบบอ้างอิงมาตรฐานของ ISO โดยใช้รหัสว่า ISO 7498 ซึ่งเป็นรูปแบบที่กล่าวถึงการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าหาด้วยกันในลักษณะที่เรียกว่าระบบเปิด (Open System Interconnection (OSI)) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ องค์ประกอบของสถาปัตยกรรมลำดับชั้น ซึ่งกล่าวถึงส่วนประกอบที่ถูกกำหนดหรือสร้างขึ้นมาในชั้นต่าง ๆ และสถาปัตยกรรมลำดับชั้น 7 ชั้น ซึ่งกล่าวถึงฟังก์ชันและการให้บริการในแต่ละชั้น

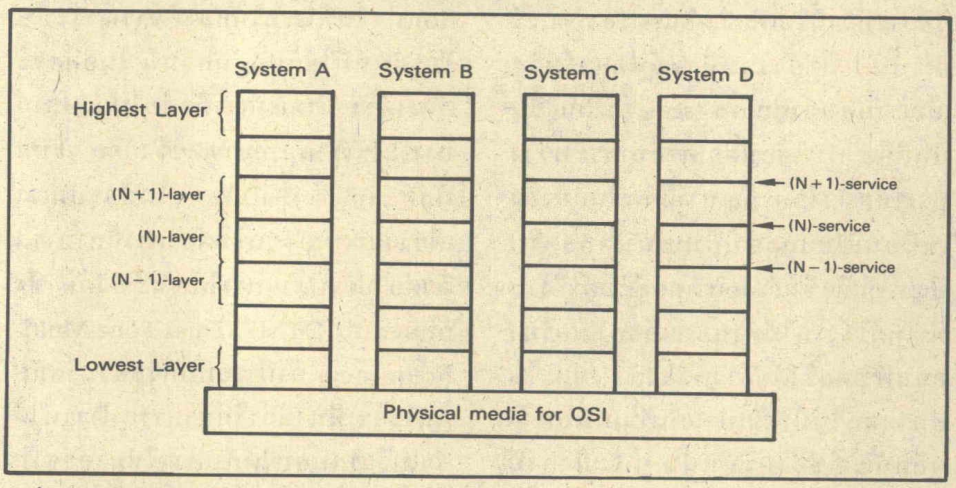
### องค์ประกอบของสถาปัตยกรรม

องค์ประกอบของสถาปัตยกรรมเป็นการกล่าวถึงคำจำกัดความและการเขียนสื่อแทนความหมายต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบเปิด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2 เมื่อกล่าวถึง (N+1)-layer, (N)-layer จะหมายถึงชั้นที่ N+1 และ N ตามลำดับ เมื่อกล่าวถึง (N+1)-service, (N)-service จะหมายถึงการบริการที่อยู่ตรงรอยต่อของชั้นที่ N+1 กับ N+2 และ N กับ N+1 ตามลำดับ

ก. ระบบ (system) หมายถึง ผู้ใช้ เครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถประมวลผลได้ด้วยตัวเอง




รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมลำดับชั้น แต่ละชั้นจะมีโปรโตคอลประจำชั้นซึ่งใช้ในการสื่อสารในระดับที่เท่ากันเท่านั้น และแต่ละชั้นจะสื่อสารถึงกันโดยผ่านจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้น




รูปที่ 2 ระบบ (system) ชั้น (layer) และบริการ (service)

พร้อมด้วยซอฟต์แวร์และอุปกรณ์รายล้อมที่เกี่ยวข้อง

ข. ชั้น (layer) หมายถึง โครงสร้างเชิงตรรกที่ถูกกำหนดขึ้น เพื่อใช้แบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อย ๆ และไม่ขึ้นต่อกัน ทำให้การพิจารณาหรือกระทำกับระบบมีความสะดวกขึ้น

ค. entity หมายถึง ส่วนประกอบภายในชั้นที่ใช้ทำงานต่าง ๆ ภายในชั้นหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยหลาย entity

ง. บริการ (service) หมายถึง ความสามารถที่ชั้นต่ำกว่าให้บริการแก่ชั้นที่สูงกว่าที่อยู่ติดกันดังในรูปที่ 3 เป็นการแสดงให้เห็นการบริการระหว่างชั้นที่ N กับ N+1

จ. จุดให้บริการ (Service Access Point (SAP)) หมายถึงจุดเชื่อมต่อเชิงตรรกระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันใช้เป็นจุดสื่อสาร (ให้หรือรับบริการ) ของ entity ระหว่างชั้น รูปที่ 3 เป็นการแสดงให้เห็นว่า (N)-SAP (จุดให้บริการในชั้นที่ N) เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นที่ N กับ N+1 โดยมีข้อแม้ว่า (N)-SAP หนึ่งจุดจะเชื่อมต่อกับคู่ของ entity ในชั้นที่ N กับ N+1 ได้ในเวลาใดเวลาหนึ่งได้เพียงคู่เดียวเท่านั้น แต่ entity ในชั้นที่ N และ N+1 สามารถเชื่อมต่อกับ (N)-SAP ได้มากกว่าหนึ่งจุด

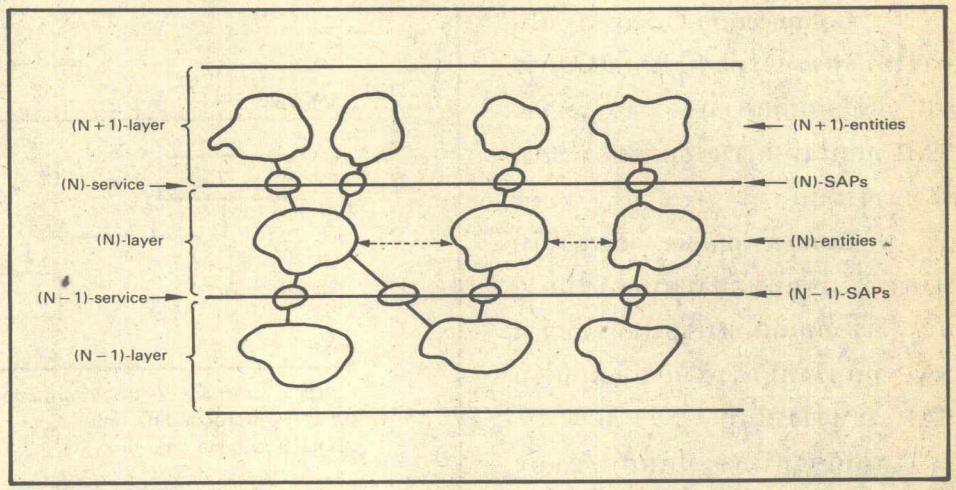
ฉ. ฟังก์ชัน (function) หมายถึง การกระทำที่เกิดจาก entity ภายในชั้นนั้น ๆ

ช. โปรโตคอล (protocol) หมายถึงกฎเกณฑ์และรูปแบบที่ใช้ควบคุมการสื่อสารระหว่าง entity ของชั้นเดียวกันแต่ต่างระบบกัน

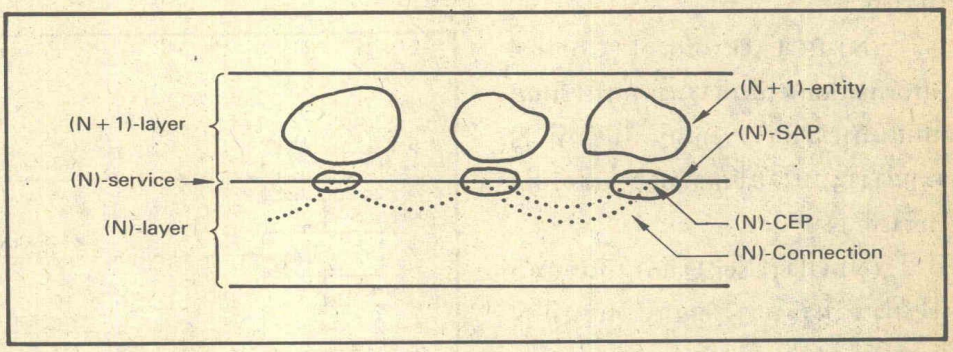
ซ. การกำหนดชื่อ (naming) หมายถึงการกำหนดชื่อของวัตถุใด ๆ ที่อยู่ภายในชั้นหรืออยู่ที่ขอบระหว่างชั้น เช่น entity, SAP เป็นต้น จะต้องมีการกำหนดชื่อให้แน่นอนลงไปเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ตามสถาปัตยกรรมของ OSI ได้กำหนดชื่อของ entity และ SAP ไว้ดังนี้ แต่ละ (N)-entity (entity ในชั้นที่ N) จะถูกกำหนดให้เป็นชื่อสากลเฉพาะ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปในระบบเปิด ภายในขอบเขตที่จำกัด N-entity สามารถถูกกำหนดให้เป็นชื่อที่ใช้ภายในขอบเขตนั้น ๆ ได้ แต่ต้องเป็นชื่อที่ไม่ซ้ำกัน และใช้ในขอบเขตนั้น ๆ เท่านั้น แต่ละ (N)-SAP ถูกกำหนดโดย (N)-address ซึ่งจะบอกที่ตั้งเฉพาะของ (N)-SAP นั้น ๆ โดยจะอยู่ระหว่าง ชั้นที่ N และชั้นที่ N+1

ฌ. การเชื่อมต่อ (connection) หมายถึงการเชื่อมต่อระหว่าง (N)-SAP ที่อยู่ในชั้นเดียวกันแต่ต่างระบบกัน การเชื่อมต่ออาจจะเป็นแบบจุดต่อจุดหรือหลายจุดก็ได้ขึ้นอยู่กับบริการนั้น ๆ จุดที่ใช้ในการกำหนดการต่อระหว่าง SAP ทั้งสองหรือมากกว่าคือ (N)-CEP (N-Connection End-Point) แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งอยู่ภายใน SAP และถูกกำหนดไม่ซ้ำกัน (N)-CEP ถูกใช้โดย (N+1) และ (N)-entity ของทั้งสองระบบของ (N)-SAP เพื่อกำหนดการเชื่อมต่อในชั้นที่ N

การให้บริการเชื่อมต่อตามสถาปัตยกรรมของ OSI แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ




รูปที่ 3 entity จุดให้บริการ (SAP) และโปรโตคอล




รูปที่ 4 การเชื่อมต่อ และ CEP

- Connnection-Oriented เป็นการให้บริการที่จะต้องมีขั้นตอนในการขอ และยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่าง SAP ทุกครั้งที่มีการเชื่อมต่อของ SAP ระหว่างระบบ

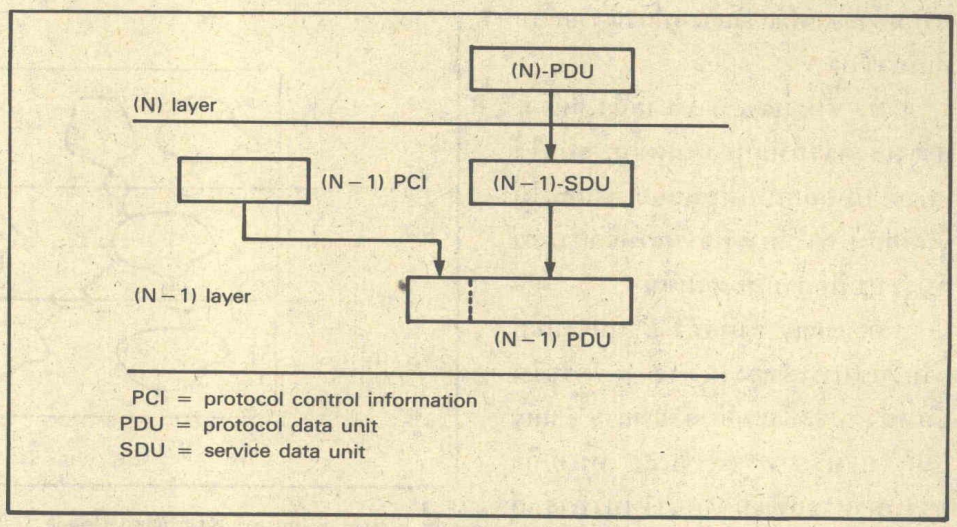
- Connectionless เป็นการให้บริการที่ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนในการขอ หรือยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่าง SAP ทุกครั้งที่มีการส่งผ่านข้อมูลผ่าน SAP ระหว่างระบบ

นอกจากนี้สถาปัตยกรรมของ OSI ยังได้กำหนดรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการส่งผ่านกันระหว่างชั้นดังแสดงในรูปที่ 5

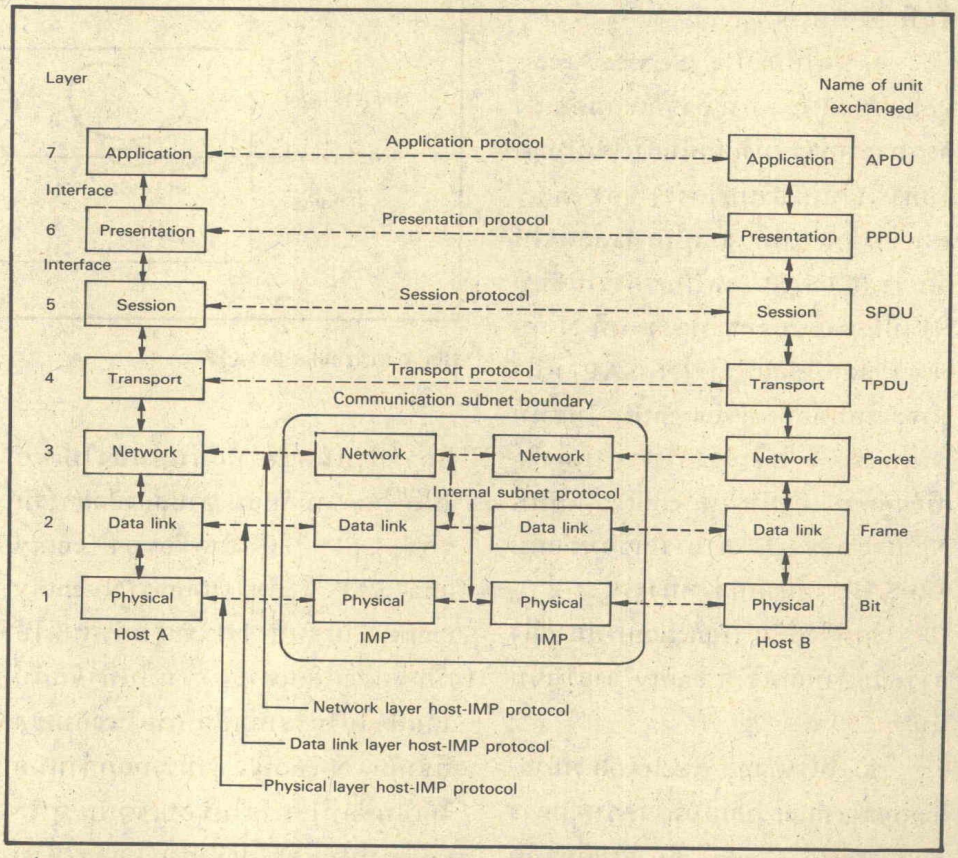
(N)-PCI (Protocol Control Information) เป็นสารสนเทศที่ใช้แลกเปลี่ยนกันระหว่าง entity ในชั้นที่ N ระหว่างระบบโดยใช้การบริการเชื่อมต่อในชั้นที่ N-1

(N)-UD (User Data) เป็นข้อมูลที่ใช้ผ่านกันระหว่าง entity ในชั้นที่ N ในฐานะ entity ในชั้นที่ N เป็นผู้ให้บริการแก่ชั้นที่ N+1

(N)-PDU (Protocol Data Unit) เป็นข้อมูลชุดหนึ่งที่ประกอบไปด้วย (N)-PCI กับ (N)-UD




รูปที่ 5 ความสัมพันธ์เชิงตรรกระหว่างหน่วยของข้อมูลในชั้นที่อยู่ติดกัน




รูปที่ 6 สถาปัตยกรรมลำดับชั้นตามรูปแบบของการเชื่อมต่อระบบเปิด

## สถาปัตยกรรมลำดับชั้น 7 ชั้น

สถาปัตยกรรมลำดับชั้น 7 ชั้นคือการแบ่งโปรโตคอลที่ใช้ในการควบคุมการส่งผ่านข้อมูลออกเป็นชั้นย่อย ๆ 7 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยแต่ละชั้นจะมีหน้าที่การทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ ในกรณีที่ทำงานร่วมกันสามารถติดต่อกันได้โดยผ่านจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันเท่านั้น

ก. Physical Layer เป็นชั้นที่ 1 จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อทางกายภาพระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน เครื่องคอมพิวเตอร์กับเทอร์มินัล หรือเทอร์มินัลกับเทอร์มินัล (DTE/DTE, DTE/DCE) มาตรฐานของชั้นนี้จะกล่าวทางด้าน คุณสมบัติทางกล (mechanical) คุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical) หน้าที่

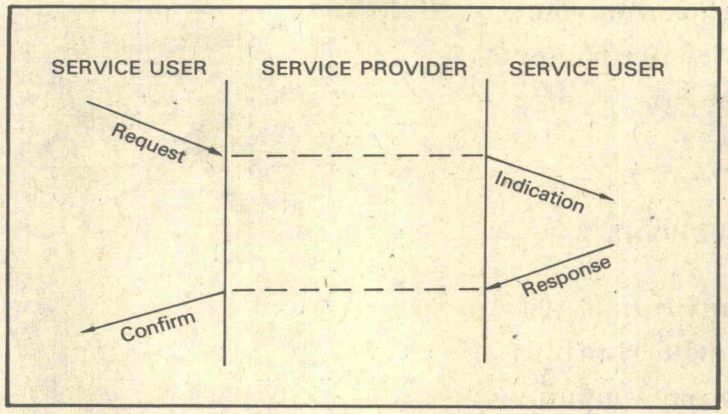
ของการทำงาน (functional) และขั้นตอนในการทำงาน (procedural) ของการเชื่อมต่อ สำหรับข้อมูลในชั้นนี้จะอยู่ในรูปแบบที่เป็นบิต (bit stream)

ข. Data Link Layer เป็นชั้นที่ 2 จะกล่าวถึงการควบคุมและตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล การควบคุมการส่งผ่านข้อมูล และการให้บริการในลักษณะต่าง ๆ เช่น Connection-Oriented, Connectionless สำหรับข้อมูลชั้นนี้จะถูกจัดให้เป็นกลุ่ม ซึ่งเรียกโดยทั่ว ๆ ไปว่า "เฟรม (Frame)"

ค. Network Layer เป็นชั้นที่ 3 จะกล่าวถึงการควบคุมการทำงานของชุมสายที่ใช้ในการสวิตช์ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง การแก้ปัญหาของการมีข้อมูลภายในระบบมากเกินกว่าที่จะให้บริการได้ สำหรับข้อมูลในชั้นนี้จะถูกจัดให้เป็นกลุ่มซึ่งเรียกโดยทั่ว ๆ ไปว่า "กลุ่มข้อมูล (packet)"

ง. Transport Layer เป็นชั้นที่ 4 จะกล่าวถึงความแน่นอนและความถูกต้องในการส่งผ่านข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางในลักษณะที่เรียกว่า "end-to-end" คุณภาพของการให้บริการ (quality of service) แก่ session layer ชั้นนี้เป็นชั้นสุดท้ายที่กระทำเกี่ยวกับความแน่นอนในการสื่อสาร (reliable communication)

จ. Session Layer เป็นชั้นที่ 5 จะกล่าวถึงการให้บริการในลักษณะที่เรียกว่า "user-oriented" โดยจะเริ่มมองในแง่ของความสะดวกของผู้ใช้งาน นั่นก็คือ การยอมให้ผู้ใช้ที่อยู่บนเครื่อง (machine) ที่ต่างกันสามารถเปิด session ถึงกันได้ session ที่ว่านี้ได้แก่ remote login การเคลื่อนย้ายไฟล์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังให้บริการที่เรียกว่า การซิงโครไนซ์ (synchronization) ซึ่งใช้ในการเรียกสถานะเดิมกลับคืนมาหลังจากระบบเกิดขาดการติดต่ออย่างกะทันหัน




รูปที่ 7
บริการพื้นฐาน 4 ลักษณะ

ฉ. Presentation Layer เป็นชั้นที่ 6 จะกล่าวถึงไวยากรณ์ และความหมาย (syntax and semantic) ของข้อมูล การเข้ารหัสของข้อมูลเพื่อให้ได้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานที่สามารถใช้ได้กับทุก ๆ เครื่อง มีการกำหนดโครงสร้างข้อมูลนามธรรม (abstract data structure) นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึง การลดจำนวนข้อมูล (data compression) การเข้ารหัสลับข้อมูล (data encryption) ไว้ในชั้นนี้ด้วย อนึ่ง โครงสร้างข้อมูลนามธรรมที่มีการกำหนดขึ้นมาเป็นมาตรฐาน ISO 8824/CCITT X.208 มีชื่อว่า ASN.1 (Abstract Syntax Notation.1)

ช. Application Layer เป็นชั้นที่ 7 จะกล่าวถึงการให้บริการแก่โปรแกรมประยุกต์ของผู้ใช้งานในระบบ เช่น การกำหนดเทอร์มินัลเสมือน (virtual terminal) เพื่อให้ผู้ใช้บนเครื่องที่ต่างกันสามารถเข้าถึงเทอร์มินัลของกันและกันได้ นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานของโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ เช่น electronic mail, X.400 ของ CCITT หรือ MOTIS (Message Oriented Text Interchange Systems) ของ ISO

## ลักษณะของบริการพื้นฐาน

OSI กำหนดลักษณะของการบริการพื้นฐานระหว่างชั้นที่ N กับ N+1 ใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วย 4 บริการพื้นฐาน คือ

ก. request เป็นการที่ผู้ใช้บริการร้องขอการกระทำบางอย่างจากผู้ให้บริการ (ชั้นต่ำกว่าที่อยู่ติดกัน)

ข. Indicate เป็นการที่ผู้ให้บริการร้องขอการกระทำบางอย่างหรือแจ้งการกระทำบางอย่างที่เกิดจากผู้ใช้บริการที่อยู่ในระดับเดียวกันแต่ต่างระบบ

ค. Response เป็นการที่ผู้ใช้บริการตอบกลับสำหรับการร้องขอการกระทำบางอย่างที่จุดให้บริการนั้น ๆ

ง. Confirm เป็นการที่ผู้ให้บริการตอบกลับสำหรับการร้องขอการกระทำบางอย่างที่จุดให้บริการนั้น ๆ

## ข้อกำหนดของ OSI สำหรับโปรโตคอลชั้นที่ 2

จุดมุ่งหมายของ OSI ได้กำหนดว่า โปรโตคอลในชั้นที่ 2 จะต้องให้ความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลของ

**COMPUTER STANDARDS**
**มารู้จักมาตรฐานระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์กันเถอะ**

ผู้ใช้ระหว่างระบบ จากข้อกำหนดนี้เองทำให้สามารถอธิบายถึงฟังก์ชันและบริการของโปรโตคอลชั้นที่ 2 อย่างคร่าว ๆ ดังนี้

## ฟังก์ชันของโปรโตคอลในชั้นที่ 2

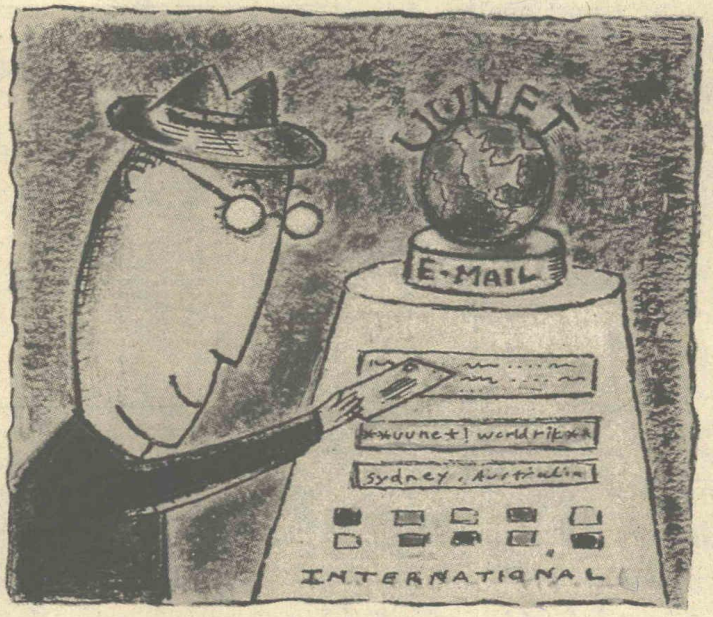
ก. การเริ่มต้นการเชื่อมต่อ (initialization) ใช้สำหรับการสถาปนาการเชื่อมต่อระหว่าง entity ในชั้นที่ 2 ระหว่างระบบไปบนเส้นทางในการส่งผ่านข้อมูลที่ได้ถูกกำหนดขึ้นมาแล้ว ซึ่งเส้นทางนี้อาจจะมีได้มากกว่าหนึ่งเส้นทางก็ได้

ข. การกำหนดจุดปลายทางระหว่างระบบ (identification) ใช้สำหรับกำหนดผู้รับและผู้ส่งข้อมูลระหว่างระบบ เพื่อให้ข้อมูลส่งผ่านกันได้อย่างถูกต้อง

ค. การเข้าจังหวะระหว่างระบบ (synchronization) ใช้สำหรับปรับและสร้างความคงอยู่ให้ผู้รับและผู้ส่งระหว่างระบบ มีกลไกในการเข้ารหัสและถอดรหัสระหว่างกันได้อย่างถูกต้อง

ง. การแบ่งส่วนและการจำกัดขอบเขต (segmenting and delimiting) ใช้สำหรับแบ่งข้อมูลของผู้ใช้ออกเป็นส่วนย่อย ๆ มีขนาดที่แน่นอนและเหมาะสมที่จะใช้ในการส่งผ่านระหว่างระบบ เพราะว่าการส่งผ่านข้อมูลไปบนสื่อนำสัญญาณอาจจะได้รับการรบกวนจากสัญญาณภายนอก ทำให้ข้อมูลไม่สามารถถูกนำไปใช้งานได้ ทำให้ต้องมีการส่งผ่านข้อมูลเดิมจนกว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้ ถ้าข้อมูลมีขนาดยาวเกินไปจะทำให้เสียเวลามากในการส่งผ่านข้อมูลซ้ำ แต่ถ้าข้อมูลมีขนาดเล็กจนเกินไปก็ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพ

จ. ความโปร่งใสของข้อมูลต่อผู้ใช้ (transparency) ทำให้ข้อมูลในทุก ๆ รูปแบบ (รหัส) ของผู้ใช้งานสามารถส่งผ่านถึงกันได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงรหัสพิเศษต่าง ๆ ที่ใช้ในชั้นที่ 2 ว่าจะเป็นอุปสรรคต่อการส่งผ่านข้อมูลระหว่างระบบ




ฉ. การควบคุมการไหลของข้อมูล (flow control) ทำให้ผู้รับสามารถจัดระเบียบการไหลของข้อมูลที่รับจากผู้ส่งเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ส่งส่งข้อมูลมามากเกินไป จนกระทั่งผู้รับไม่สามารถรับหรือตรวจสอบข้อมูลได้ทัน ซึ่งมีผลทำให้เสียเวลาในการเริ่มการรับส่งข้อมูลระหว่างกันใหม่

ช. การควบคุมลำดับของข้อมูลและตรวจสอบความผิดพลาด (error and sequence control) ใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่าน ทำให้สามารถแยกแยะข้อมูลที่ผิดออกจากข้อมูลที่ถูกได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถตอบกลับ หรือแจ้งกลับไปยังผู้ส่งได้ว่ามีเหตุการณ์อะไรเกิดขึ้นเกี่ยวกับข้อมูลนั้น ๆ

ซ. การกลับคืนสู่สถานะเดิม (abnormal condition recovery) ใช้สำหรับตรวจสอบและกลับคืนสู่สถานะเดิมได้อย่างถูกต้อง เช่น ในกรณีที่ระบบไม่ได้รับการตอบรับจากฝ่ายตรงข้าม การส่งผ่านข้อมูลที่มีลำดับไม่ถูกต้อง เป็นต้น วิธีการแก้ไขที่นิยมใช้กันมากคือ การตรวจสอบสถานะภายในเวลาที่กำหนด (time-out)

ฌ. การยกเลิกการเชื่อมต่อ (termination) ใช้สำหรับสิ้นสุดการส่งผ่านข้อมูลระหว่างระบบ การยกเลิกนี้เป็นการยกเลิกการเชื่อมต่อเชิงตรรกเท่านั้น จะไม่รวมถึงการยกเลิกเส้นทางทางกายภาพที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล

ญ. การบริหารการเชื่อมโยง (link management) ใช้สำหรับดูแลและจัดการการเชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูล เช่น การสถาปนา (establish) การปลดปล่อย (release) และลำดับของข้อมูล (sequence) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการจัดการกับระบบที่มีรูปแบบของการเชื่อมต่อในลักษณะจุดต่อจุดและหลายจุดด้วย

สถานีในความหมายของโปรโตคอลในชั้นที่ 2 ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สถานีปฐมภูมิ (primary station) เป็นสถานีที่มีสิทธิพิเศษมากที่สุดในโทโพโลยีหนึ่ง ๆ (แบบจุดต่อจุด หรือหลายจุด) เช่น สามารถกำหนดให้สถานีที่เหลือทำงานตามคำสั่ง สามารถส่งหรือรับข้อมูลกับสถานีที่เหลือทั้งหมดได้ ประเภทที่สองคือ สถานีทุติยภูมิ (secondary station) เป็นสถานีที่ถูกควบคุมการทำงานโดยสถานีปฐมภูมิ ในกรณีที่ต้องการส่งผ่านข้อมูลระหว่างสถานีทุติยภูมิด้วยกันเองจะต้องส่งผ่านสถานีปฐมภูมิก่อนเสมอ สถานีประเภทสุดท้ายคือ สถานีผสม (combined station) เป็นสถานีที่รวมความสามารถของสถานีปฐมภูมิและสถานีทุติยภูมิไว้ในสถานีเดียว ดังนั้นในโทโพโลยีที่มีการต่อสถานีผสมเข้าหากันจึงไม่มีสถานีใดมีสิทธิเหนือกว่ากัน

## โปรโตคอล HDLC (High-level Data Link Control Protocol)

โปรโตคอล HDLC เป็นโปรโตคอลชั้นที่ 2 ที่ถูกกำหนดขึ้นโดย ISO โดยมีรหัสคือ "ISO 4335" สามารถประยุกต์เข้ากับหลายรูปแบบของการเชื่อมต่อทางกายภาพ และมีหน้าที่การทำงานดังนี้

- ใช้ได้กับการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดและหลายจุด
- ใช้ได้กับการส่งผ่านข้อมูลระยะใกล้และไกล
- ใช้ได้กับการส่งผ่านข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์และฟูลดูเพล็กซ์
- ใช้ได้กับระบบที่มีการกำหนดประเภทของสถานีทั้ง 3 ประเภท

อนึ่ง ระบบที่มีการกำหนดสถานีปฐมภูมิและสถานีทุติยภูมิ เรียกว่าระบบอสมดุล (unbalanced system) ซึ่งการเชื่อมต่อเป็นได้ทั้งจุดต่อจุดและหลายจุด สำหรับระบบที่ประกอบด้วยสถานีผสมทั้งหมดเรียกว่า ระบบสมดุล (balance system) ซึ่งการเชื่อมต่อเป็นได้เฉพาะจุดต่อจุดเท่านั้น รูปแบบของการส่งผ่านข้อมูลตามข้อกำหนดของโปรโตคอล HDLC แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

ก. NRM (Normal Response Mode) ใช้กับระบบอสมดุล สถานีปฐมภูมิต้องการจะติดต่อสถานีทุติยภูมิในกรณีใดก็ได้ แต่สถานีทุติยภูมิจะมีสิทธิ์ติดต่อกับสถานีปฐมภูมิได้ก็ต่อเมื่อสถานีปฐมภูมิอนุญาตเท่านั้น

ข. ARM (Asynchronous Response Mode) ใช้กับระบบอสมดุล สถานีทุติยภูมิสามารถติดต่อกับสถานีปฐมภูมิได้โดยไม่จำเป็นต้องให้สถานีปฐมภูมิอนุญาตก่อน

ค. ABM (Asynchronous Balanced Mode) ใช้กับระบบสมดุล แต่ละสถานีสามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้โดยไม่จำเป็นต้องได้รับอนุญาตจากสถานีที่ต้องการจะติดต่อด้วยเสียก่อน

### รูปแบบของเฟรม (frame format)

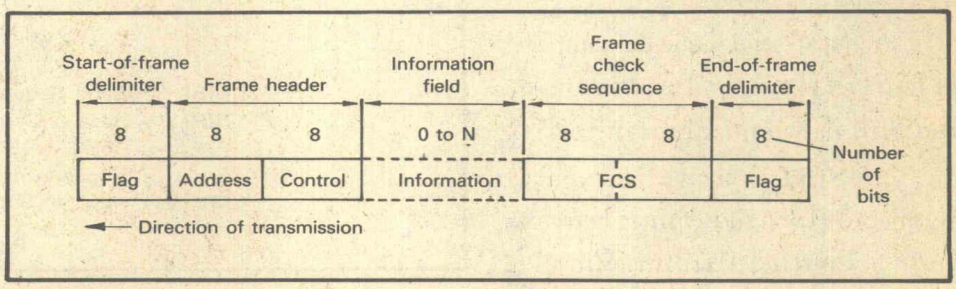
รูปแบบเฟรมของโปรโตคอล HDLC ประกอบด้วย 5 เขตดังแสดงในรูปที่ 8 คือ เขตแฟล็ก (flag field) เขตแอดเดรส (address field) เขตควบคุม (control field) เขตข้อมูล (information field) และเขตตรวจสอบเฟรม (Frame Check Sequence field (FCS)) แต่ละเขตสามารถอธิบายได้ดังนี้

### เขตแฟล็ก

เขตแฟล็ก มีขนาด 8 บิต เป็นเขตที่ใช้บอกถึงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของเฟรม ซึ่งเรียกว่า แฟล็กเปิด (opening flag) และแฟล็กปิด (closing flag) มีรหัสคงที่คือ $01111110_B$ ($7E_H$)

### เขตแอดเดรส

เขตแอดเดรส เป็นเขตที่ใช้บอกถึงหมายเลขของสถานีซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นระบบอสมดุลหรือสมดุล ในระบบอสมดุลเมื่อสถานีปฐมภูมิส่งเฟรมไปยังสถานีทุติยภูมิ แอดเดรสนี้จะเป็นหมายเลขของสถานีทุติยภูมิ และถ้าเฟรมนี้ถูกส่งจากสถานีทุติยภูมิ แอดเดรสนี้ก็จะเป็นหมายเลขของสถานีทุติยภูมินั้น ในระบบสมดุล ถ้าเฟรมที่ส่งเป็นเฟรมคำสั่ง (command frame) แอดเดรสนี้จะเป็นหมายเลขของสถานีปลายทาง แต่ถ้าเฟรมที่ส่งเป็นเฟรมตอบสนอง (response frame) แอดเดรสนี้จะเป็นหมายเลขของสถานีที่ส่งเฟรมนั้น เขตแอดเดรสมีขนาด 8 บิตหรือจำนวนเท่าของ 8 บิต โดยมีข้อกำหนดว่าถ้าบิตที่มีนัย




รูปที่ 8 รูปแบบเฟรมของ HDLC

สำคัญน้อย (Least Significant Bit (LSB)) มีค่าเป็น "0" หมายความว่าแอดเดรสถูกขยายออกไปอีก 8 บิต แต่ถ้ามีค่าเป็น "1" หมายถึงเขตของแอดเดรสสิ้นสุดลงที่ 8 บิตนี้ นอกจากนี้ถ้าแอดเดรสมีค่าเป็น $11111111_B$ ($FF_H$) จะหมายความว่าเป็นแอดเดรสของทุก ๆ สถานีที่ต่ออยู่ ใช้ประโยชน์ในการกระจายข้อมูลให้กับทุกสถานีโดยใช้แอดเดรสเพียงหมายเลขเดียว

**เขตควบคุม**

เขตควบคุม เป็นเขตที่ใช้บอกถึงประเภทของเฟรมซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 9 คือ เฟรมข้อมูล (information frame) ซึ่งถูกกำหนดโดยบิตที่มีนัยสำคัญน้อยบิตแรกของเขตควบคุมจะต้องมีค่าเป็น "0" เป็นเฟรมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ประเภทที่สองคือ เฟรมควบคุมและดูแล (supervisory frame) ซึ่งถูกกำหนดโดยบิตที่มีนัยสำคัญน้อยสองบิตแรกจะต้องมีค่าเป็น "10" เป็นเฟรมที่ใช้ในการสอบถามและแสดงสถานภาพการรับข้อมูลของแต่ละสถานี และประเภทสุดท้ายคือเฟรม unnumbered ซึ่งถูกกำหนดโดยบิตที่มีนัยสำคัญน้อยสองบิตแรกจะต้องมีค่าเป็น "11" เป็นเฟรมที่ใช้ในการส่งผ่านคำสั่ง หรือคำตอบรับในการควบคุมระบบ เช่น การสถาปนาการเชื่อมต่อ การยกเลิกการเชื่อมต่อ เป็นต้น สำหรับส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเขตควบคุมสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. N(S) (send sequence number) ใช้ในการควบคุมการไหลของข้อมูล โดยใช้เป็นค่าที่บอกว่าเป็นเฟรมที่เท่าไร

ข. N(R) (receive sequence number) ใช้ในการควบคุมการไหลของข้อมูล โดยฝ่ายรับใช้เป็นค่าที่บอกว่าคาดว่าจะได้รับเฟรมต่อไปเป็นเฟรมที่เท่าไร หรือเป็นค่าที่บอกว่าเฟรมที่ไม่สามารถรับได้เป็นเฟรมที่เท่าไร สำหรับคำตอบรับหรือคำตอบปฏิเสธตามลำดับ

ค. P/F (Poll/Final) การ poll หมายถึงการที่สถานีใดสถานีหนึ่งส่งคำสั่งไปให้อีกสถานีหนึ่งเพื่อต้องการการตอบกลับ การ final หมายถึงการที่สถานีที่ถูกทำการตอบรับต่อการ poll นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าการ poll จะเกิดกับเฟรมที่เป็นคำสั่งเสมอ และจะต้องกำหนดบิต P/F ให้มีค่าเป็น "1" แต่ถ้าเป็น "0" จะไม่เกิดการ poll สำหรับการ final จะเกิดกับเฟรมที่เป็นคำตอบรับเสมอและจะต้องกำหนดบิต P/F ให้มีค่าเป็น "1" แต่ถ้าเป็น "0" จะไม่เกิดการ final

ง. S (Supervisory code) เป็นรหัสที่กำหนดชุดคำสั่งและคำตอบรับดังแสดงในรูปที่ 10 ของเฟรมควบคุมและดูแล

จ. M (Unnumbered code) เป็นรหัสที่กำหนดชุดคำสั่งและคำตอบรับดังแสดงในรูปที่ 10 ของเฟรม unnumbered

อนึ่ง เขตควบคุมจะมีขนาด 8 หรือ 16 บิตก็ได้ขึ้นอยู่กับการกำหนดของระบบนั้น ๆ ในกรณีที่เป็นแบบ 8 บิตจะทำให้สถานีสามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุด 7 เฟรมติดต่อกัน (modulo-8) โดยไม่ต้องรอการตอบกลับจากสถานีตรงข้าม และในกรณีที่เป็นแบบ 16 บิตจะทำให้สถานีสามารถรับส่งข้อมูลได้สูงสุด 127 เฟรมติดต่อกัน (modulo-128) โดยไม่ต้องรอการตอบกลับจากสถานีตรงข้าม

**เขตข้อมูล**

เขตข้อมูล มีขนาดเป็นจำนวนเท่าของ 8 บิต ใช้สำหรับบรรจุข้อมูล ซึ่งก็คือ PDU ของโปรโตคอลที่อยู่ในชั้นที่สูงกว่านั่นเอง

| | CONTROL FIELD BITS | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BIT ORDER | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| I frame format | 0 | N(S) | | | P/F | N(R) | | |
| S frame format | 1 | 0 | S | S | P/F | N(R) | | |
| U frame format | 1 | 1 | M | M | P/F | M | M | M |

9 (ก)

| | EXTENDED CONTROL FIELD BITS | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1st Octet | | | | | | | | | 2nd Octet | | | | | | |
| BIT ORDER | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| I frame format | 0 | N(S) | | | | | | | P | N(R) | | | | | | |
| S frame format | 1 | 0 | S | S | 0 | 0 | 0 | 0 | / | N(R) | | | | | | |
| U frame format | 1 | 1 | M | M | * | M | M | M | F | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

* The value of this bit is undefined

LEGEND

N(S) = Send Sequence Number
N(R) = Receive Sequence Number
P/F = Poll/Final Bit
S = Supervisory Bits
M = Modifier Bits

9 (ข)

รูปที่ 9 การเคลื่อนที่ของหน้าต่าง (ก) เขตควบคุมแบบ 8 บิต (ข) เขตควบคุมแบบ 16 บิต

### เขตตรวจสอบเฟรม

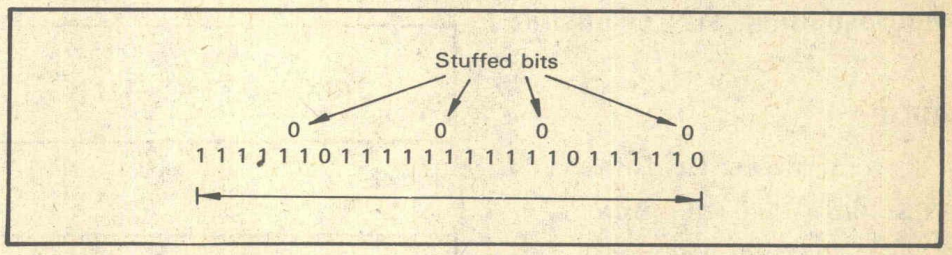
เขตตรวจสอบเฟรม มีขนาด 16 บิต เป็นเขตที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมที่ได้รับที่ปลายทางโดยใช้หลักการของ CRC (Cyclic Redundancy Code) สำหรับโปรโตคอล HDLC ใช้ $X^{16}+X^{12}+X^5+1$ เป็น generator polynomial

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า รหัสแฟล็กมีค่าคงที่ ดังนั้นรหัสใด ๆ จะเหมือนกับแฟล็กไม่ได้ เพราะจะทำให้การรับส่งโปรโตคอลผิดพลาดได้ และยังไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดที่กล่าวถึง "ความโปร่งใสของข้อมูลต่อผู้ใช้" การแก้ไขปัญหาทำได้โดยวิธีที่เรียกว่าการแทรกบิตศูนย์ (Zero bit insertion) โดยมีข้อกำหนดว่า ถ้ารหัสที่ไม่ใช้แฟล็ก (ยกเว้นรหัส abort และ idle) เมื่อมีบิตที่มีค่าเป็น "1" เกิดขึ้นอย่างน้อย 5 บิตติดต่อกันจะทำการแทรกบิต "0" ลงไปในตำแหน่งที่ 6 เสมอ และบิตที่อยู่ในตำแหน่งถัดไปก็จะถูกเลื่อนไป 1 ตำแหน่งทุก ๆ บิต ดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อปลายทางตรวจพบลักษณะเช่นนี้ก็จะดึงบิต "0" ออกและเลื่อนบิตในตำแหน่งถัดไปเข้ามา 1 บิต ก็จะได้ข้อมูลเดิมกลับมา สำหรับรหัส abort และ idle คือรหัสที่มีบิต "0" และตามด้วย "1" เป็นจำนวน 7 และอย่างน้อย 15 บิตติดต่อกันตามลำดับ

| S FRAMES | BITS | |
|---|---|---|
| COMMANDS/RESPONSES | 3 | 4 |
| RR — Receive Ready | 0 | 0 |
| REJ — Reject | 0 | 1 |
| RNR — Receive Non Ready | 1 | 0 |
| SREJ — Selective Reject | 1 | 1 |

| U FRAMES | | CONTROL FIELD BITS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COMMANDS | RESPONSES | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| SNRM | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| SNRME | | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| SARM | DM | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| SARME | | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| SABM | | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| SABME | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| DISC | RD | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | UA | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| SIM | RIM | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TEST | TEST | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| XID | XID | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| UI | UI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | FRMR | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

รูปที่ 10 รหัสชุดคำสั่งและคำตอบรับ




รูปที่ 11 ลักษณะของการแทรกและดึงบิต "0"

## ลักษณะการส่งเฟรมโต้ตอบของโปรโตคอล HDLC

จากรูปที่ 12 เป็นการแสดงให้เห็นการส่งผ่านข้อมูลระหว่างสถานีปฐมภูมิกับสถานีทุติยภูมิโดยมีขั้นตอนดังนี้ สถานีปฐมภูมิต้องการส่งข้อมูลไปยังสถานีทุติยภูมิจึงส่งคำสั่ง SNRM พร้อมกับทำการ poll ไปด้วยเพื่อต้องการให้สถานีทุติยภูมิตอบกลับ เมื่อสถานีทุติยภูมิได้รับเฟรมก็ตอบกลับโดยใช้คำตอบสนอง UA พร้อมกับ final ต่อการ poll ของสถานีปฐมภูมิ หลังจากนั้นสถานีปฐมภูมิก็เริ่มทำการส่งข้อมูล 2 เฟรมติดต่อกัน (เฟรม 0 และ 1) พร้อมกันนั้นก็ทำการ poll ไปในเฟรม 1 เพื่อต้องการให้สถานีทุติยภูมิตอบกลับว่าได้รับเฟรมเรียบร้อยหรือไม่ สถานีทุติยภูมิตอบกลับเป็น RR2 พร้อมกับ final เพื่อแสดงว่ารับข้อมูลได้ถูกต้องทั้งสองเฟรมและคาดว่าจะรับเฟรม 2 ต่อไป เมื่อสถานีปฐมภูมิได้รับคำตอบรับดังกล่าวก็เริ่มส่งเฟรมต่อไป (เฟรม 2 และ 3)

อนึ่ง สถานะในการส่งและตอบรับเฟรมของโปรโตคอล HDLC มีอยู่หลายสถานะ และใช้ได้ทั้งการรับส่งข้อมูลที่เป็นแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์และฟูลดูเพล็กซ์ ซึ่งรายละเอียดหาได้จากเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ

# FCS การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล

ในการคำนวณหา FCS และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ทั้งภาคส่งและภาครับจะต้องดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

## ภาคส่ง

ก. กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ของ FCS ให้เป็น "0" หมดทุกบิต

ข. ทำการผกผัน (inverse) 16 บิตแรก (บิตที่อยู่ถัดจากแฟล็กเปิด) ก่อนทำการเลื่อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ของ FCS

ค. เลื่อนเขตที่เหลือของเฟรมเข้าสู่รีจิสเตอร์ของ FCS แบบไม่ผกผัน

ง. ทำการผกผันค่าที่อยู่ในรีจิสเตอร์ FCS (เศษของผลหารนั่นเอง) เพื่อบรรจุลงในเขต FCS ของเฟรมส่ง

## ภาครับ

ก. กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ของ FCS ให้เป็น "0" หมดทุกบิต

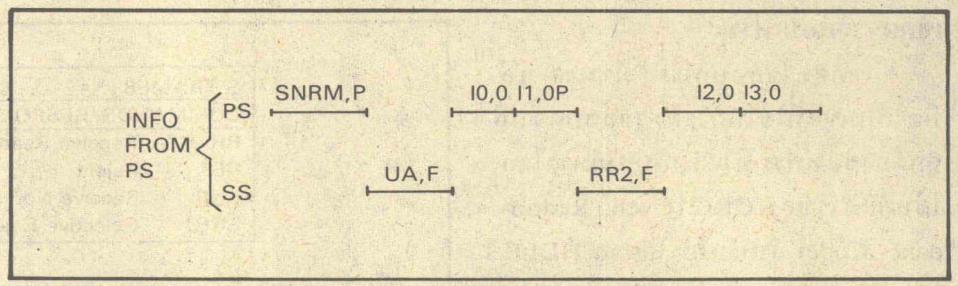
ข. ทำการผกผัน 16 บิตแรก ก่อนทำการเลื่อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ตรวจสอบ FCS

ค. ทำการเลื่อนบิตที่เหลือแบบไม่ผกผัน จนกระทั่งถึงบิตเริ่มต้นของเขต FCS

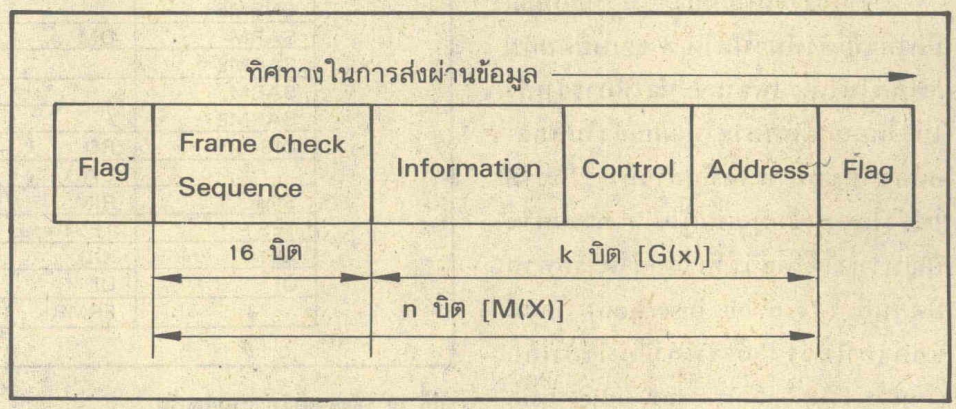
ง. ทำการผกผันค่าของ FCS ก่อนที่จะเลื่อนเข้าสู่รีจิสเตอร์ตรวจสอบ

การใช้ FCS ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในโปรโตคอล HDLC สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 13

การบวกของสมการในหัวข้อนี้เป็นการบวกแบบ modulo-2 คือ $0+0=0, 0+1=1, 1+0=1$ และ $1+1=0$ หมายถึงการบวกแบบไม่มีบิตทด




รูปที่ 12 การรับส่งเฟรมของ HDLC (PS = Primary Station, SS = Secondary Station)




รูปที่ 13 รูปแบบของเฟรม HDLC กับการกำหนดบิต

$$G(X) = X^5+X^3+1\ (1\cdot X^5+0\cdot X^4+1\cdot X^3+0\cdot X^2+0\cdot X^1+1\cdot X^0)$$

รูปที่ 14

$$\frac{X^{16}G(X)+X^k(X^{15}+X^{14}+X^{13}+\ldots+1)}{P(X)} = Q(X)+\frac{R(X)}{P(X)}$$

รูปที่ 15

ในที่นี้กำหนดให้ข้อมูลคือ 101001 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน G(X) ได้ดังรูปที่ 14

HDLC ใช้ generator polynomial (P(x)) $X^{16}+X^{12}+X^5+1$ ในการตรวจสอบ ดังนั้น

$$P(X) = X^{16}+X^{12}+X^5+1$$

เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนการหา FCS ทางด้านภาคส่งสามารถเขียนสมการได้เป็นดังรูปที่ 15

Q(X) คือผลหารที่ได้ และ R(X) คือเศษที่เหลือจากการหาร ซึ่งต้องนำมาทำให้เป็นค่าผกผันตามขั้นตอนข้างต้นเพื่อทำให้เป็น FCS ดังนั้นสารสนเทศที่ส่งไปยังปลายทาง คือ

$$M(X) = X^{16} G(X) + FCS$$

(ข้อมูลที่ถูกเลื่อนไป 16 บิตกับ FCS)

ทางภาครับมีขั้นตอนคล้ายกับภาคส่ง แต่ต่างตรงที่ข้อมูลที่ถูกพิจารณาทางภาครับคือ M(X) ไม่ใช่ G(X) ดังนั้นในสมการ ในรูปที่ 16 ค่าของ $X^k$ จึงเปลี่ยนเป็น $X^n$ ($n = k + 16$) ซึ่งเขียนเป็นสมการดังรูปที่ 16

Qr(X) และ Rr(x) คือ ผลหารที่ได้ และเศษที่เหลือ ทางภาครับตามลำดับ

ในที่นี้จะแสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากสมการในรูปที่ 16 เป็นค่าคงที่ โดยพิจารณาจากสมการรูปที่ 16 ด้านซ้ายมือ

กำหนดให้ $L(X) = X^{15} + X^{14} + X^{13} + \ldots + 1$ และรูปที่ 17 เป็นการดึงตัวประกอบร่วมออก

การผกผันค่าของ R(X) ในสมการในรูปที่ 15 ให้เป็น FCS คือ การบวกค่าของ R(X) ด้วย L(X) นั่นก็คือ

$$FCS = R(X) + L(X)$$

เมื่อนำค่าของ R(X) และ L(X) แทนใน FCS จะได้ดังรูปที่ 18

จากการบวกแบบ modulo-2 จะได้ดังรูปที่ 19

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลนั้นจะไม่สนใจผลที่ได้จากการหาร เพราะเมื่อข้อมูลต่างกัน ผลที่ได้ย่อมต่างกันด้วย แต่จะสนใจเศษที่เหลือจากการหารเท่านั้น ดังนั้นสมการรูปที่ 19 สิ่งที่สนใจคือ

$$\frac{Rr(X)}{P(X)} = \frac{X^{16} L(X)}{P(X)}$$

เมื่อ L(X) และ P(X) ต่างก็เป็นค่าคงที่ ดังนั้นผลที่ได้ก็ย่อมเป็นค่าคงที่ด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าข้อมูลจะเป็นเช่นไรก็ตาม ถ้าการส่งผ่านข้อมูลถูกต้อง เศษที่เหลือจะเป็นค่าคงที่ตัวเดิมเสมอ ซึ่งก็คือค่าดังรูปที่ 20

อนึ่ง การตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล โดยใช้ CRC นี้ก็มิได้ให้ผลถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์กับทุก ๆ กรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับข้อมูล ซึ่งรายละเอียดสามารถหาอ่านได้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความนี้ สำหรับฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการคำนวณ CRC ก็คือ "Feedback Shift Register" ดังแสดงในรูปที่ 21

## การควบคุมการไหลของข้อมูล (flow control)

การควบคุมการไหลของข้อมูลเป็นวิธีการที่ใช้ในการควบคุมการส่งผ่านข้อมูล เพื่อป้องกันไม่ให้ฝ่ายส่งส่งข้อมูลมามากเกินไป จนกระทั่งฝ่ายรับไม่สามารถรับข้อมูลได้ทัน ซึ่งมีผลทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ โดยทั่วไปฝ่ายรับจะต้องมีการกำหนดบัฟเฟอร์ (buffer) เพื่อรองรับข้อมูลจากฝ่ายส่ง และทำการประมวลผลให้ถูกต้อง หลังจากนั้นจึงจะลบข้อมูลออกจากบัฟเฟอร์

$$\frac{X^{16}(X^{16}G(X) + F(S) + X^n(X^{15} + X^{14} + X^{13} + \ldots + 1)}{P(X)} = Qr(X) + \frac{Rr(X)}{P(X)}$$

รูปที่ 16

$$X^{16}\left[\frac{X^{16}G(X) + FCS}{P(X)} + \frac{X^k(X^{15} + X^{14} + X^{13} + \ldots + 1)}{P(X)}\right]$$

$$X^{16}\left[\frac{X^{16}G(X) + X^k(X^{15} + X^{14} + X^{13} + \ldots + 1)}{P(X)} + \frac{FCS}{P(X)}\right]$$

รูปที่ 17

$$X^{16}\left[Q(X) + \frac{R(X)}{P(X)} + \frac{R(X)}{P(X)} + \frac{L(X)}{P(X)}\right] = Qr(X) + \frac{Rr(X)}{P(X)}$$

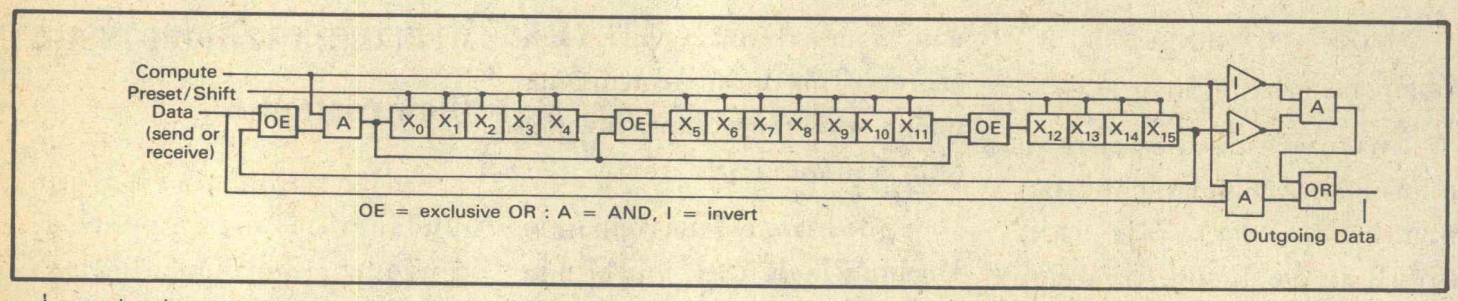
รูปที่ 18

$$X^{16}Q(X) + \frac{X^{16}L(X)}{P(X)} = Qr(X) + \frac{Rr(X)}{P(X)}$$

รูปที่ 19

$$\frac{X^{16}(X^{15} + X^{14} + X^{13} + \ldots + 1)}{X^{16} + X^{12} + X^5 + 1} = 00011101\ 00001111\ (X^{15} \ldots X^0)$$

รูปที่ 20




รูปที่ 21 ฮาร์ดแวร์ในการคำนวณ CRC

เพื่อรอรับข้อมูลใหม่ต่อไป วิธีการที่นิยมใช้เรียกว่า "การเลื่อนหน้าต่าง (sliding window)"

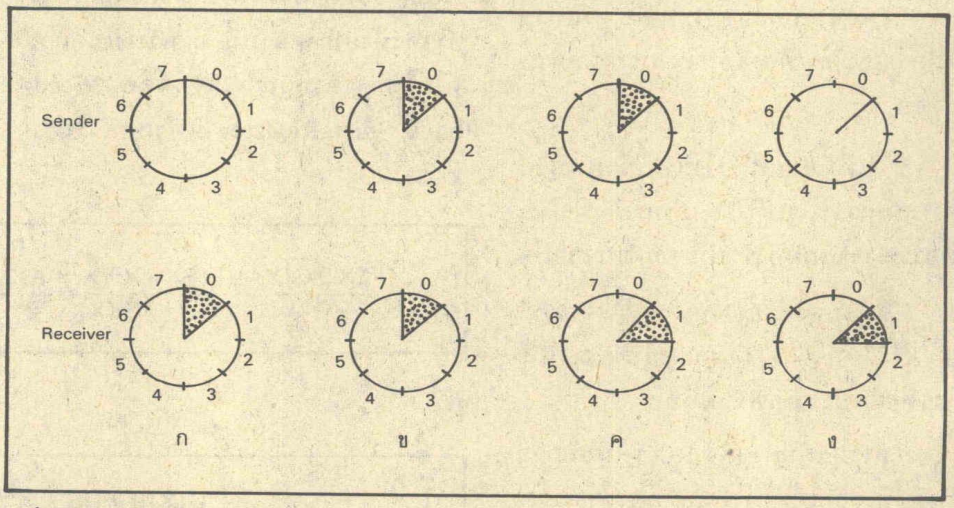
ลักษณะของการเลื่อนหน้าต่างสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 22 โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ผู้รับและผู้ส่ง ทั้งผู้รับและผู้ส่งจะมีส่วนของหน้าต่างทั้งหมด 8 ส่วน (0-7)

- ในขณะที่ผู้ส่งยังไม่ได้ทำการส่งข้อมูลหน้าต่างของผู้ส่งยังปิดอยู่ ในที่นี้กำหนดให้ผู้รับสามารถรับข้อมูลได้ครั้งละ 1 ส่วน จึงทำให้ผู้รับเปิดหน้าต่างอยู่ 1 ส่วนพร้อมที่จะรับข้อมูลจากผู้ส่งดังแสดงในรูปที่ 22 ก.

- เมื่อผู้ส่งทำการส่งข้อมูลออกไปก็จะทำการเปิดหน้าต่างตัวเองออกมา 1 ส่วน ขณะเดียวกันผู้รับก็รอรับข้อมูลจากผู้ส่งดังแสดงในรูปที่ 22 ข.

- เมื่อผู้รับรับข้อมูลจากผู้ส่งได้ถูกต้องก็จะทำการเลื่อนหน้าต่างของตัวเองออกไป 1 ส่วน (จาก 0 เป็น 1) พร้อมที่จะรับข้อมูลส่วนต่อไป ขณะเดียวกันผู้ส่งก็รอรับการตอบกลับจากผู้รับดังในรูปที่ 22 ค.

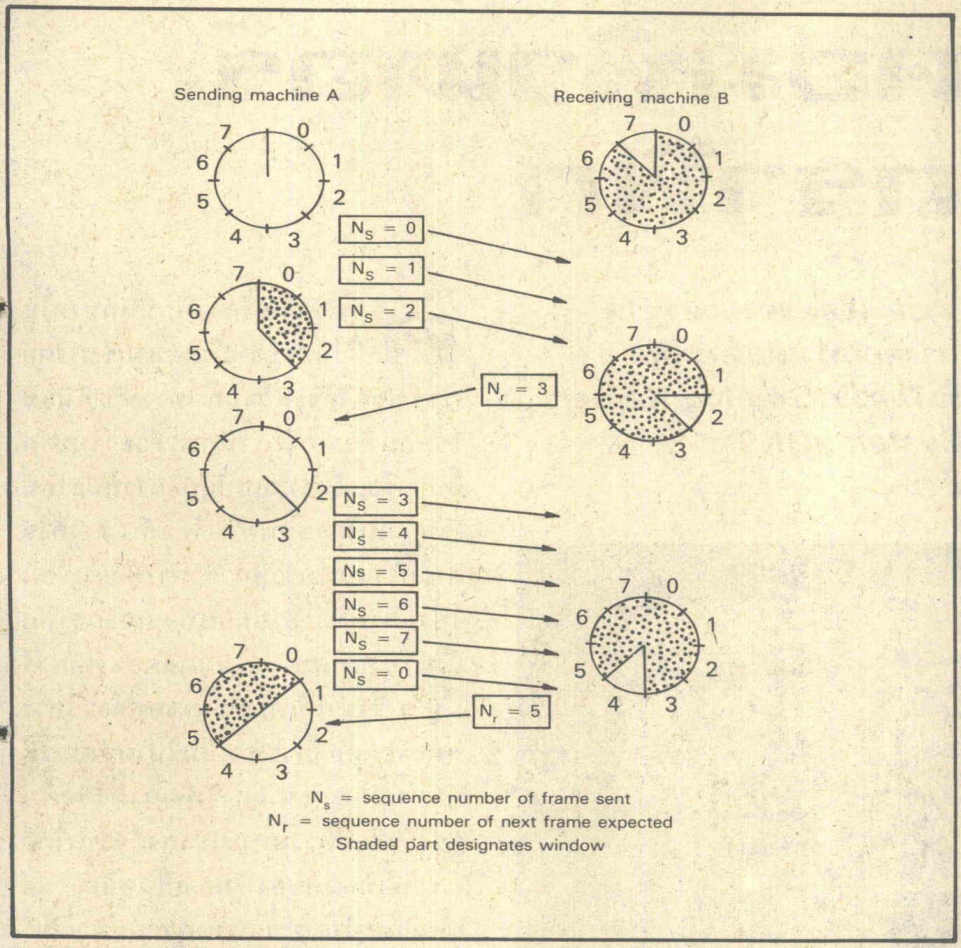
- เมื่อผู้ส่งรับทราบว่าข้อมูลส่งได้ถูกต้องแล้วก็ทำการปิดหน้าต่างเดิมลงและพร้อมที่จะส่งข้อมูลต่อไป (ถ้ามีข้อมูลส่ง) ขณะเดียวกันผู้รับก็พร้อมที่จะรับข้อมูลส่วนต่อไปดังแสดงในรูปที่ 22 ง.



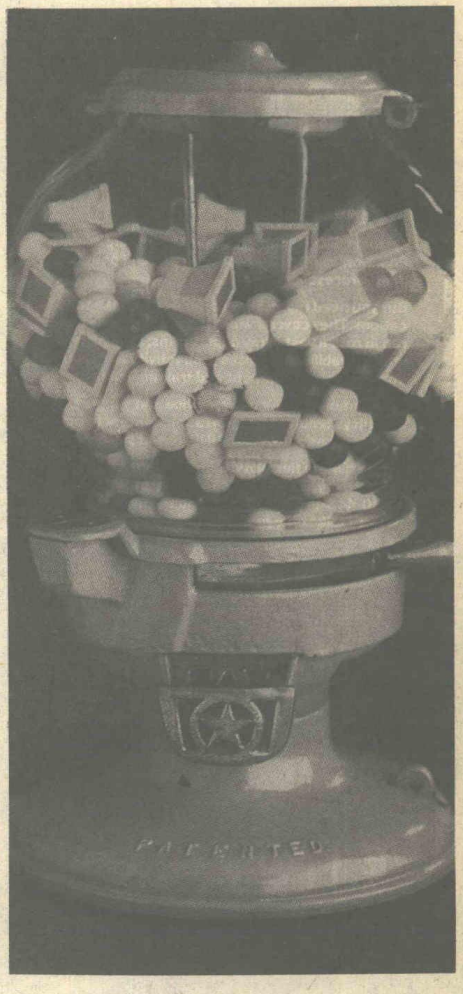

รูปที่ 22 การเคลื่อนที่ของหน้าต่าง

จากขั้นตอนข้างต้นจะเห็นได้ว่าผู้ส่งจะเปิดหน้าต่างได้ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลจะส่ง และจะปิดหน้าต่างได้ก็ต่อเมื่อผู้รับได้แจ้งกลับมาว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ส่วนผู้รับจะเปิดหน้าต่างคอยข้อมูลจากผู้ส่งเสมอและจะเปลี่ยนช่องหน้าต่างก็ต่อเมื่อได้ตรวจสอบข้อมูลถูกต้องพร้อมกับแจ้งกลับไปยังผู้ส่งแล้วเท่านั้น จากรูปที่ 22 ถ้าคิดต่อไปจะพบว่าผู้รับไม่สามารถเปิดหน้าต่างได้มากกว่า จำนวนหน้าต่างสูงสุด-1 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ แล้วจะทำให้เกิดการทับซ้อนหน้าต่างเดิม ทำให้ผู้ส่งและผู้รับไม่สามารถตรวจสอบลำดับของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้มีความเข้าใจได้มากขึ้นจะขออธิบายตัวอย่างเพิ่มเติมในรูปที่ 23

จากรูปกำหนดให้ผู้ส่งและผู้รับสามารถส่งรับข้อมูลได้มากที่สุด 7 เฟรมติดต่อกัน ในช่วงแรกผู้ส่งทำการส่ง 3 เฟรม (N=0, 1, 2) ทำให้หน้าต่างของผู้ส่งถูกเปิดออก 3 ส่วน เมื่อผู้รับรับเฟรมได้ถูกต้องจึงเลื่อนหน้าต่างของตัวเองให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งใหม่พร้อมกับส่งข่าวสารกลับไปยังฝ่ายส่งให้เริ่มส่งเฟรมที่ 3 มาได้ เมื่อฝ่ายส่งได้รับการยืนยันจึงปิดหน้าต่างลง 3 ส่วน ทำให้ตำแหน่งเริ่มต้นของหน้าต่างจะเปลี่ยนไปจากเดิม หลังจากนั้นก็ทำการส่งข้อมูลเพิ่มเติมไปอีก 6 เฟรม (3 ถึง 7 และ 0) แต่ในที่นี้ฝ่ายรับต้องการที่จะจำกัด




รูปที่ 23 การควบคุมการไหลของข้อมูล



การส่งข้อมูลของฝ่ายส่งซึ่งอาจจะเนื่องมาจากฝ่ายรับมีบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอ จึงตอบกลับไปยังฝ่ายส่งให้เริ่มส่งตั้งแต่เฟรมที่ 5 กลับมาใหม่

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าเป็นการยกตัวอย่างของการเลื่อนหน้าต่างสำหรับการส่งผ่านข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งตามที่เป็นจริงแล้วการเลื่อนหน้าต่างสามารถประยุกต์ได้กับการส่งผ่านข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์เช่นกัน

## บทสรุป

มาตรฐานของระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูลในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการศึกษาจึงควรจะมีมาตรฐานที่เป็นรูปแบบทั่วไปและเป็นที่ยอมรับ ไว้เป็นพื้นฐานของแนวความคิด เพื่อจะได้ศึกษามาตรฐานอื่น ๆ ต่อไปได้โดยไม่เกิดความสับสน การศึกษาโปรโตคอลก็เช่นเดียวกัน ในที่นี้ยกตัวอย่างของ HDLC ก็เพราะว่า มีการนำ HDLC ไปเป็นแบบอย่างของโปรโตคอลในชั้นที่ 2 ของมาตรฐานอื่น ๆ อยู่พอสมควร เช่น LAPB (Link Access Procedure Balance) ใน X.25, LAPD (Link Access Procedure in D-Channel) ใน ISDN และ LLC (Logical Link Control) ในอนุกรม IEEE 802.X เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Tanenbaum A.S., Computer Network, PHI, New Jersey, 2 nd ed., 1989

2. เขมะฑัต วิภาตะวนิช, "การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบโปรโตคอลชนิด SDLC," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

3. Folts, H.C., Data Communication Standards, McGraw-Hill, New York, vol I, II, III, 1986.